

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-330387
(43)Date of publication of application : 30.11.1999

(51)Int.Cl.

H01L 27/10
G11C 11/15
H01L 43/08

(21)Application number : 10-130710
(22)Date of filing : 13.05.1998

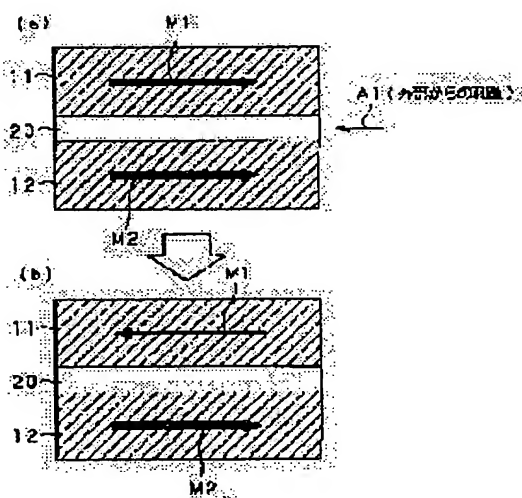
(71)Applicant : SONY CORP
(72)Inventor : BESSHO KAZUHIRO
IWASAKI HIROSHI

(54) METHOD FOR CONTROLLING MAGNETIZATION, METHOD FOR RECORDING INFORMATION AND INFORMATION RECORDING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an actually practicable method as a method for controlling a magnetization for controlling the magnetization without using a magnetic field, and method for recording information using such a method for controlling the magnetization and an information recording element.

SOLUTION: Magnetized regions 11, 12 made of a ferromagnetic material are divided by a spacer region 20 made of a composite containing a magnetic material and a semiconductor material. A stimulus is externally given to the region 20 to change a magnetic interaction between the magnetized regions, thereby controlling magnetization of the one or more magnetized regions. Thus, when the magnetic material is contained in the region 20, even if the region 20 is thickened to a practically usable degree, the magnetic interaction can be generated between the magnetized regions made of the ferromagnetic material. Then, a magnetizing direction of the regions 11, 12 can be controlled by utilizing the magnetic interaction between the magnetized regions via an intermediary of the region 20.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
H 0 1 L 27/10	4 5 1	H 0 1 L 27/10 4 5 1
G 1 1 C 11/15		G 1 1 C 11/15
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08 Z

審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-130710

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月13日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 別所 和宏

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 岩崎 洋

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

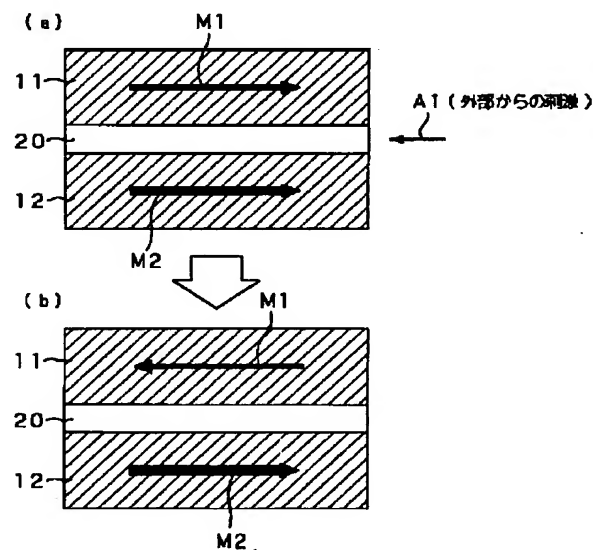
(74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(54) 【発明の名称】 磁化制御方法、情報記録方法及び情報記録素子

(57) 【要約】

【課題】 磁界を用いることなく磁化を制御することが可能な磁化制御方法として、より現実的であり実用可能な方法を提供する。また、そのような磁化制御方法を利用した情報記録方法及び情報記録素子を提供する。

【解決手段】 強磁性体からなる磁化領域を、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスペーサ領域によって分割する。そして、スペーサ領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御する。このようにスペーサ領域に磁性材料を含ませておけば、スペーサ領域を実用可能な程度にまで厚くしても、強磁性体からなる磁化領域間において磁気的相互作用を生じさせることが可能であり、スペーサ領域により媒介される磁化領域間の磁気的相互作用を利用して、磁化領域の磁化方向を制御することが出来る。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 強磁性体からなる磁化領域を、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスペース領域によって分割し、

スペース領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御することを特徴とする磁化制御方法。

【請求項 2】 上記スペース領域に対して、電気刺激、光照射又は温度制御のいずれかによって上記刺激を与え 10 ることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 3】 上記スペース領域に使用する複合体として、磁性半導体を用いることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 4】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性微粒子を半導体中に分散させた媒体を用いることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 5】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性微粒子を磁性半導体中に分散させた媒体を用いることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。 20

【請求項 6】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性体膜と半導体膜とを積層した多層膜を用いることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 7】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性体膜と磁性半導体膜とを積層した多層膜を用いることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 8】 上記スペース領域の厚さを 10 nm 以上とすることを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 9】 強磁性体からなる磁化領域を、厚さ 10 nm 以上のスペース領域によって分割し、 30 スペース領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御することを特徴とする磁化制御方法。

【請求項 10】 上記スペース領域に、磁性材料及び半導体材料を含む複合体を使用することを特徴とする請求項 9 記載の磁化制御方法。

【請求項 11】 強磁性体からなる磁化領域を、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスペース領域によって分割し、 40 記録する情報に対応させてスペース領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御し、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録を行うことを特徴とする情報記録方法。

【請求項 12】 上記スペース領域に対して、電気刺激、光照射又は温度制御のいずれかによって上記刺激を与えることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。 50

2

【請求項 13】 上記スペース領域に使用する複合体として、磁性半導体を用いることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。

【請求項 14】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性微粒子を半導体中に分散させた媒体を用いることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。

【請求項 15】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性微粒子を磁性半導体中に分散させた媒体を用いることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。

【請求項 16】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性体膜と半導体膜とを積層した多層膜を用いることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。

【請求項 17】 上記スペース領域に使用する複合体として、強磁性体膜と磁性半導体膜とを積層した多層膜を用いることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。

【請求項 18】 上記スペース領域の厚さを 10 nm 以上とすることを特徴とする請求項 11 記載の情報記録方法。

【請求項 19】 強磁性体からなる磁化領域を、厚さ 10 nm 以上のスペース領域によって分割し、記録する情報に対応させてスペース領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御し、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録を行うことを特徴とする情報記録方法。

【請求項 20】 上記スペース領域に、磁性材料及び半導体材料を含む複合体を使用することを特徴とする請求項 19 記載の情報記録方法。

【請求項 21】 強磁性体からなる磁化領域が、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスペース領域によって分割されてなる構造を有し、記録する情報に対応した刺激がスペース領域に対して外部から与えられることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用が変化して、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化が制御され、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録が行われることを特徴とする情報記録素子。 40

【請求項 22】 電気刺激、光照射又は温度制御のいずれかによって、上記スペース領域に対して上記刺激が与えられることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。

【請求項 23】 上記スペース領域に使用される複合体は、磁性半導体からなることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。

【請求項 24】 上記スペース領域に使用される複合体は、強磁性微粒子を半導体中に分散させた媒体からなることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。 50

3

【請求項 25】 上記スペース領域に使用される複合体は、強磁性微粒子を磁性半導体中に分散させた媒体からなることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。

【請求項 26】 上記スペース領域に使用される複合体は、強磁性体膜と半導体膜とを積層した多層膜であることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。

【請求項 27】 上記スペース領域に使用される複合体は、強磁性体膜と磁性半導体膜とを積層した多層膜であることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。

【請求項 28】 上記スペース領域の厚さが 10 nm 以上であることを特徴とする請求項 21 記載の情報記録素子。

【請求項 29】 強磁性体からなる磁化領域が、厚さ 10 nm 以上のスペース領域によって分割されてなる構造を有し、記録する情報に対応した刺激がスペース領域に対して外部から与えられることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用が変化して、1 つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化が制御され、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録が行われることを特徴とする情報記録素子。

【請求項 30】 上記スペース領域は、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなることを特徴とする請求項 29 記載の情報記録方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁性体の磁化制御方法に関するものであり、詳しくは、強磁性体からなる磁化領域をスペース領域によって分割し、スペース領域に対して外部から刺激を与えることにより、磁化領域の磁化方向を制御する方法に関する。また、本発明は、このような磁化方向制御を利用した情報記録方法及び情報記録素子に関する。

【0002】

【従来の技術】情報通信機器、特に携帯端末などの個人用小型機器の飛躍的な普及に伴い、これを構成するメモリやロジックなどの素子には、高集積化、高速化、低電力化など、一層の高性能化が要請されている。特に不揮発性メモリの高密度・大容量化は、可動部分の存在により本質的に小型化が不可能なハードディスクや光ディスクを置き換える技術として、ますます重要になってきている。

【0003】不揮発性メモリとしては、半導体を用いたフラッシュメモリや、強誘電体を用いた F R A M (Ferroelectric Random Access Memory) などが挙げられる。しかしながら、フラッシュメモリは、構造が複雑なために高集積化が困難であり、しかも、アクセス時間が 100 ns 程度と遅いという欠点がある。一方、F R A M においては、書き換え可能回数が少ないという問題が指摘されている。

4

【0004】これらの欠点を有さない不揮発性メモリとして注目されているのが、例えば「Wang et al., IEEE Trans. Magn. 33(1997), 4498」に記載されているような、M R A M (Magnetic Random Access Memory) もしくは M R (Magnetoresistance) メモリとよばれる磁気メモリである。

M R A M は、構造が単純であるため高集積化が容易であり、また磁気モーメントの回転により記録を行うために書き換え可能回数が大であると予測されている。しかも、提案された当初に問題であったアクセス時間についても、G M R (Giant Magnetoresistance) 効果により高出力が得られるようになった現在では、大きく改善されている。

【0005】しかし、M R A M には、構造上の本質的な問題点が存在する。M R A M における記録は、配線に電流を流すことによって発生する電流磁場によって記録層の磁化を回転させることにより行っている。ところが、高集積化によって配線が細くなるに伴い、書き込み線に流すことのできる臨界電流値が下がるため、得られる磁界が小さくなり、被記録領域の保磁力を小さくせざるを得ない。これは、情報記録素子の信頼性が低下することを意味する。また、磁界というものは、光や電子線のように絞ることが出来ないため、高集積化した場合には、クロストークの大きな原因になると考えられる。これを防止するためにキーパ構造等も提案されているが、構造の複雑化は避けられない。以上のように、電流磁場による書き込みには本質的に多くの問題があり、電流磁場による書き込みが将来の M R A M における大きな欠点になる恐れがある。

【0006】ところで、このような欠点は、磁界を用いることなく磁化を制御することが可能であれば解消することができる。そして、磁界を用いることなく磁化を制御する手法として、例えば「Mattson et al., Phys. Rev. Lett. 71(1993)185」に記載されているように、強磁性体／半導体／強磁性体を積層して用いる手法が提案されている。

【0007】これは、強磁性体層間の磁気的な結合が、中間層である半導体層のキャリア濃度に依存していることを利用するものである。強磁性体／半導体／強磁性体を積層した積層体では、中間層である半導体層のキャリア濃度を制御することにより、強磁性層間の磁気的結合を、例えば平行から反平行へと変化させることが可能である。そこで、一方の磁性層（固定層）の保磁力を大としておけば、他方の磁性層（可動層）の磁化を固定層に対して回転させることが出来る。特に電気的な入力で磁化を回転させる方法は、小型全固体素子を実現する技術として有望である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述のような強磁性体／半導体／強磁性体を積層した積層体においては、半導

5

体層を介して強磁性層間で間接的に磁気的な相互作用が生じる。そのため、中間層である半導体層のキャリア濃度を制御することで強磁性層間の磁気的結合制御するには、中間層である半導体層の膜厚を十分に薄くする必要がある。

【0009】これは、半導体層を介した強磁性層間の相互作用の大きさが、半導体層の厚さに対して指数関数的に減衰するためである。現実的な相互作用の大きさを得るため、例えば厚さ2nm、飽和磁化12500ガウスのNi-Fe合金において、交換バイアスなどの方法により1000eの保磁力を与えたものを考える。このNi-Fe合金の磁化を反転させるために必要なエネルギーと同等なエネルギーを、半導体を介した間接相互作用で与えるためには、交換結合定数Jが0.02erg/cm²以上なくてはならないことが簡単な計算により見積もられる。この大きさの相互作用を与えるためには、J.J.de Vriesらの論文(Physical Review Letters 78, (1997)p.3023)によると、約2.5nmであることが分かる。すなわち、実用的な素子を提供するためには、半導体層の厚さは2.5nm以下でなくてはならない。

【0010】しかしながら、2.5nm以下というような薄膜を用いて、実際に素子を作製するということは、現在の微細加工技術では現実的でない。しかも、実際にそのような素子が作製できたとしても、半導体と強磁性体との界面でのショットキー障壁等の形成に伴う空乏層の生成によって、この程度の薄い半導体層は殆ど絶縁障壁になっていると考えられるため、キャリアの注入は困難である。

【0011】本発明は、以上のような従来の実情に鑑みて提案されたものであり、磁界を用いることなく磁化を制御することが可能な磁化制御方法として、より現実的であり実用可能な方法を提供することを目的としている。また、本発明は、そのような磁化制御方法を利用した情報記録方法及び情報記録素子を提供することも目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の磁化制御方法では、強磁性体からなる磁化領域を、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスぺーサ領域によって分割する。そして、スぺーサ領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御する。

【0013】以上のような本発明に係る磁化制御方法では、スぺーサ領域により媒介される磁化領域間の間接的な磁気的相互作用を利用して、磁化領域の磁化方向を制御する。そして、本発明においては、スぺーサ領域に磁性材料を含ませているので、スぺーサ領域が厚くても、強磁性体からなる磁化領域間における磁気的相互作用を生じさせることができる。すなわち、本発明に係る磁化

6

制御方法によれば、スぺーサ領域を厚くしても、磁化領域の磁化を制御することが可能である。

【0014】また、本発明に係る磁化制御方法は、強磁性体からなる磁化領域を厚さ10nm以上のスぺーサ領域によって分割し、スぺーサ領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御することを特徴とする。

【0015】スぺーサ領域の厚さが10nm以上であれば、スぺーサ領域の厚さが薄すぎるために作製が困難であるという問題や、スぺーサ領域の厚さが薄すぎるためにキャリアの注入が困難であるという問題などを、回避することができる。なお、スぺーサ領域の厚さの上限は特に規定されるものではないが、実際に素子を作製する際の製造プロセス等を考慮すると、スぺーサ領域の厚さは1μm程度以下とすることが望ましい。

【0016】また、本発明の情報記録方法では、強磁性体からなる磁化領域を、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスぺーサ領域によって分割する。そして、記録する情報に対応させてスぺーサ領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御し、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録を行う。

【0017】以上のような本発明に係る情報記録方法では、スぺーサ領域により媒介される磁化領域間の間接的な磁気的相互作用を利用して、磁化領域の磁化方向を制御することで、情報の記録を行う。そして、本発明においては、スぺーサ領域に磁性材料を含ませているので、スぺーサ領域が厚くても、強磁性体からなる磁化領域間における磁気的相互作用を生じさせることができる。すなわち、本発明に係る情報記録方法によれば、スぺーサ領域を厚くしても、磁化領域の磁化を制御して、情報を記録することが可能である。

【0018】また、本発明に係る情報記録方法は、強磁性体からなる磁化領域を厚さ10nm以上のスぺーサ領域によって分割し、記録する情報に対応させてスぺーサ領域に対して外部から刺激を与えることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用を変化させて、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化を制御し、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録を行うことを特徴とする。

【0019】スぺーサ領域の厚さが10nm以上であれば、スぺーサ領域の厚さが薄すぎるために作製が困難であるという問題や、スぺーサ領域の厚さが薄すぎるためにキャリアの注入が困難であるという問題などを、回避することができる。なお、スぺーサ領域の厚さの上限は特に規定されるものではないが、実際に素子を作製する際の製造プロセス等を考慮すると、スぺーサ領域の厚さは1μm程度以下とすることが望ましい。

【0020】また、本発明の情報記録素子は、強磁性体からなる磁化領域が、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスペーサ領域によって分割されてなる構造を有する。そして、記録する情報に対応した刺激がスペーサ領域に対して外部から与えられることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用が変化して、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化が制御され、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録が行われる。

【0021】以上のような本発明に係る情報記録素子では、スペーサ領域により媒介される磁化領域間の間接的な磁気的相互作用を利用して、磁化領域の磁化方向を制御することで、情報の記録を行う。そして、本発明においては、スペーサ領域に磁性材料を含ませているので、スペーサ領域が厚くても、強磁性体からなる磁化領域間における磁気的相互作用を生じさせることができる。すなわち、本発明に係る情報記録素子では、スペーサ領域を厚くしても、磁化領域の磁化を制御して、情報を記録することが可能である。

【0022】また、本発明に係る情報記録素子は、強磁性体からなる磁化領域が、厚さ10nm以上のスペーサ領域によって分割されてなる構造を有し、記録する情報に対応した刺激がスペーサ領域に対して外部から与えられることによって、磁化領域間の磁気的な相互作用が変化して、1つもしくはそれ以上の磁化領域の磁化が制御され、磁化領域の磁化の向きにより二値もしくはそれ以上の多値記録が行われることを特徴とする。

【0023】スペーサ領域の厚さが10nm以上であれば、スペーサ領域の厚さが薄すぎるために作製が困難であるという問題や、スペーサ領域の厚さが薄すぎるためにキャリアの注入が困難であるという問題などを、回避することができる。なお、スペーサ領域の厚さの上限は特に規定されるものではないが、実際に素子を作製する際の製造プロセス等を考慮すると、スペーサ領域の厚さは1μm程度以下とすることが望ましい。

【0024】なお、本発明に係る磁化制御方法、情報記録方法及び情報記録素子において、スペーサ領域に対して外部から刺激を与える手法としては、例えば、電気刺激、光照射又は温度制御等の手法が挙げられる。

【0025】また、スペーサ領域に使用する複合体としては、磁性半導体、強磁性微粒子を半導体中に分散させた媒体、強磁性微粒子を磁性半導体中に分散させた媒体、強磁性体膜と半導体膜とを積層した多層膜、或いは、強磁性体膜と磁性半導体膜とを積層した多層膜などが挙げられる。なお、スペーサ領域に使用する複合体は、これらのうちのいずれか1つを用いるだけでなく、それらを2つ以上組み合わせ使用することも可能である。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態につい

て、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0027】まず、本発明に係る磁化制御方法の基本的な原理を、図1を参照して説明する。図1に示すように、本発明では、強磁性体からなる磁化領域11と、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスペーサ領域20と、強磁性体からなる磁化領域12とを積層して、磁化領域11、12がスペーサ領域20によって分割されてなる構造を設ける。

【0028】このような積層構造体において、スペーサ領域20に含まれる半導体中の伝導帯電子や価電子帯正孔の濃度が変化すると、これらキャリアを媒介とする、磁化領域間のRKKY相互作用が変化する。したがって、スペーサ領域20のキャリア濃度を制御することにより、一方の磁化領域11と他方の磁化領域12との間の磁気的な結合を制御できる。

【0029】そこで、本発明では、図1(a)中の矢印A1に示すように、スペーサ領域20に対して外部から刺激を与えることによって、スペーサ領域20に含まれる半導体中の伝導帯電子や価電子帯正孔の濃度が変化させ、これにより、一方の磁化領域11と他方の磁化領域12との間の磁気的な相互作用を変化させて、磁化領域11、12の磁化を制御する。以上のように、一方の磁化領域11と他方の磁化領域12との間の磁気的な相互作用を変化させて磁化領域11、12の磁化を制御することにより、一方の磁化領域11の磁化方向M1と、他方の磁化領域12の磁化方向M2とを、例えば、図1(a)に示すような平行状態から、図1(b)に示すような反平行状態へと遷移させるようなことが可能となる。

【0030】なお、スペーサ領域20のキャリア濃度の制御は、例えば、スペーサ領域20に対して電圧を印加してキャリア注入を行うことにより行っても良いし、スペーサ領域20に対して光を照射することにより行っても良いし、或いは、スペーサ領域20の温度を制御することによって行うようにしても良い。すなわち、磁化領域11、12の磁化を制御するためにスペーサ領域20に対して刺激を与える方法としては、キャリア注入等による電気刺激や、光照射又は温度制御などが挙げられる。

【0031】ところで、本発明においては、スペーサ領域20に磁性材料を含ませることで、スペーサ領域20が厚くても磁化領域間における磁気的相互作用が生じるようにしている。以下、このようにスペーサ領域20に磁性材料を含ませた具体的な例について、図2乃至図4を参照して説明する。

【0032】図2に示す例は、スペーサ領域20に使用する複合体として、磁性半導体21を用いた例である。磁性半導体21は、半導体マトリクス21Aの中に磁性イオン21Bが分散した構造となっている。このとき、一方の磁化領域11は、まず、磁性半導体21の半導体

マトリクス 2 1 A を介して磁性イオン 2 1 B と結合する。そして、この磁性イオン 2 1 B は、他の磁性イオン 2 1 B と結合する。そして、このような結合が繰り返され、最終的に他方の磁化領域 1 2 と結合する。すなわち、一方の磁化領域 1 1 と他方の磁化領域 1 2 とは、半導体マトリクス 2 1 A 及び磁性イオン 2 1 B を介して間接的に結合する。

【0 0 3 3】一般に磁性半導体は、例えば「H. Ohno et al., Phys. Rev. Lett. 68(1992)2664」に記載されているように、磁性半導体中にキャリア誘起強磁性と呼ばれ、キャリア濃度に依存した磁気結合の生成及び消滅の現象が見られる。したがって、磁性イオン 2 1 B と、付近にある他の磁性イオン 2 1 B との結合状態は、磁性半導体 2 1 のキャリア濃度によって変調することができる。したがって、図 2 に示すような積層構造体では、磁性半導体 2 1 のキャリア濃度を制御することにより、一方の磁化領域 1 1 と他方の磁化領域 1 2 との間の間接的な磁気的な結合を制御することが可能であり、これにより、磁化領域 1 1, 1 2 の磁化方向を制御することが出来る。

【0 0 3 4】このように、スペーサ領域 2 0 に使用する複合体として、磁性半導体 2 1 を用いた場合には、半導体マトリクス 2 1 A 及び磁性イオン 2 1 B を介して、一方の磁化領域 1 1 と他方の磁化領域 1 2 とを間接的に結合させることが出来るので、スペーサ領域 2 0 が厚くても、磁化領域間における磁気的相互作用を生じさせることが出来る。すなわち、スペーサ領域 2 0 に磁性半導体 2 1 を用いることにより、スペーサ領域 2 0 を厚くしても、磁化領域 1 1, 1 2 の磁化を制御することが可能となる。

【0 0 3 5】なお、磁性半導体 2 1 の材料は、II-VI ベース、III-V ベース、カルコゲナイド系などのいずれでも良いし、更には、E u T e や E u S 等からなる、いわゆる半磁性半導体を用いることも可能である。また、磁性半導体 2 1 に含まれる磁性イオン 2 1 B の濃度は、キャリア濃度制御による磁性イオン間の磁気的結合状態の制御が可能な範囲であれば良く、特に限定されるものではない。

【0 0 3 6】図 3 に示す例は、スペーサ領域 2 0 に使用する複合体として、強磁性微粒子である磁性体クラスタ 2 2 を半導体 2 3 の内部に人為的に分散させた媒体を使用した例である。このとき、磁性体クラスタ 2 2 は、図 2 における磁性イオン 2 1 B と類似の役割を果たし、図 2 に示した例と同様な効果を得ることが出来る。

【0 0 3 7】なお、半導体 2 3 としては、例えば、非晶質又は結晶質の S i, G e 等からなる半導体が可能である。また、半導体 2 3 としては、化合物半導体、酸化物半導体、混晶半導体等も使用可能である。また、磁性体クラスタ 2 2 の材料としては、磁気モーメントを有するものであれば良く、例えば、F e, C o, N i のい

ずれか又はこれらを含む合金、或いは、希土類元素又は希土類元素を含む合金等が使用可能である。また、磁性体クラスタ 2 2 のサイズ、形状及び密度は、半導体 2 3 のキャリア濃度制御による磁性体クラスタ間の磁気的結合状態の制御が可能な範囲であれば良く、特に限定されるものではない。

【0 0 3 8】なお、本例においては、半導体 2 3 の代わりに、磁性半導体を用いるようにしても良い。半導体 2 3 の代わりに磁性半導体を用いた場合には、磁性体クラスタ 2 2 による作用だけでなく、図 2 に示した例のような磁性イオンによる作用も加わることとなる。

【0 0 3 9】図 4 に示す例は、スペーサ領域 2 0 に使用する複合体として、強磁性体膜 2 4 と半導体膜 2 5 とを積層した多層膜を用いることにより、図 2 や図 3 に示した例と同様な効果を得るようにした例である。このとき、一方の磁化領域 1 1 は、まず、隣接する半導体膜 2 5 を介して、磁化領域 2 1 に最も近接している強磁性体膜 2 4 と結合する。そして、この強磁性体膜 2 4 は、隣接する半導体膜 2 5 を介して、最も近接している他の強磁性体膜 2 4 と結合する。そして、このような結合が繰り返され、最終的に他方の磁化領域 1 2 と結合する。すなわち、一方の磁化領域 1 1 と他方の磁化領域 1 2 とは、強磁性体膜 2 4 と半導体膜 2 5 とを積層した多層膜を介して間接的に結合する。

【0 0 4 0】このように強磁性体膜 2 4 と半導体膜 2 5 とを積層した多層膜において、強磁性体膜同士の磁気的結合状態は、例えば「E. E. Fullerton et al., J. Magn. & Magn. Mater. 117(1992)L301」に記載されているように、半導体膜 2 5 のキャリア濃度に依存して変化する。したがって、強磁性体膜 2 4 と、当該強磁性体膜 2 4 に近接した他の強磁性体膜 2 4 との結合状態は、半導体膜 2 5 のキャリア濃度によって変調することができる。したがって、半導体膜 2 5 のキャリア濃度を制御することにより、一方の磁化領域 1 1 と他方の磁化領域 1 2 との間の間接的な磁気的な結合を制御することが可能であり、これにより、磁化領域 1 1, 1 2 の磁化方向を制御することが出来る。

【0 0 4 1】なお、半導体膜 2 5 の材料としては、例えば、非晶質又は結晶質の S i, G e 等からなる半導体が可能である。また、半導体膜 2 5 の材料としては、化合物半導体、酸化物半導体、混晶半導体等も使用可能である。また、強磁性体膜 2 4 の材料としては、磁気モーメントを有するものであれば良く、例えば、F e, C o, N i のいずれか又はこれらを含む合金、或いは、希土類元素又は希土類元素を含む合金等が使用可能である。また、強磁性体膜 2 4 及び半導体膜 2 5 の膜厚や積層周期は、半導体膜 2 5 のキャリア濃度制御による強磁性体膜間の磁気的結合状態の制御が可能な範囲であれば良く、特に限定されるものではない。

【0 0 4 2】なお、本例においては、半導体膜 2 5 の代

わりに、磁性半導体膜を用いるようにしても良い。半導体膜 25 の代わりに磁性半導体膜を用いた場合には、強磁性体膜 24 による作用だけでなく、図 2 に示した例のような磁性イオンによる作用も加わることとなる。

【0043】ところで、図 2 乃至図 4 に示したような構造とした場合、スペーサ領域 20 の厚さは、従来のように 2.5 nm 程度以下とする必要は必ずしもなく、例えば 10 nm 以上としても、磁化領域 11, 12 の磁化の制御を行うことが可能である。なぜならば、半導体を介する強磁性体同士の結合力は強磁性体間の距離に対して指数関数的に減衰するが、中間に磁性体がある場合には、当該磁性体を媒介として間接的に結合することができるためである。

【0044】具体的には、図 2 に示した例では、スペーサ領域 20 に磁性イオン 21B が存在しており、当該磁性イオン 21B が媒介となることで、スペーサ領域 20 が厚くても、一方の磁化領域 11 と他方の磁化領域 12 とが間接的に結合することとなる。また、図 3 に示した例では、スペーサ領域 20 に磁性体クラスタ 22 が存在しており、当該磁性体クラスタ 22 が媒介となることで、スペーサ領域 20 が厚くても、一方の磁化領域 11 と他方の磁化領域 12 とが間接的に結合することとなる。また、図 4 に示した例では、スペーサ領域 20 に強磁性体膜 24 が存在しており、当該強磁性体膜 24 が媒介となることで、スペーサ領域 20 が厚くても、一方の磁化領域 11 と他方の磁化領域 12 とが間接的に結合することとなる。

【0045】このように、スペーサ領域 20 に含まれる磁性体を媒介として一方の磁化領域 11 と他方の磁化領域 12 とが間接的に結合する様子を図 5 に示す。なお、図 5 において、横軸は、スペーサ領域 20 の厚さ（すなわち磁化領域間の距離）を示しており、縦軸は、磁化領域間の交換結合定数を示している。このようなスペーサ領域 20 の厚さと交換結合定数との関係は、例えば、スペーサ領域 20 の厚さを 0.5 nm 程度ずつ変化させた複数の試料を用意し、それらの試料における交換結合定数を磁気共鳴などの方法で測定することで、調べることが出来る。

【0046】そして、図 5 では、スペーサ領域 20 の厚さ（すなわち磁化領域間の距離）と、磁化領域間の交換結合定数との関係を、強磁性体膜 24 と半導体膜 25 とを積層した多層膜をスペーサ領域 20 に用いた場合について示している。ここで、各強磁性体膜 24 の磁気モーメントは、平行配列しているものとしている。したがって、一方の磁化領域 11 の磁化方向と、他方の磁化領域 12 の磁化方向とは互いに平行な状態となる。換言すれば、図 5 は、一方の磁化領域 11 と他方の磁化領域 12 とが、強磁性体膜 24 を媒介として、強磁性的な結合状態となっている場合を示している。なお、図 5 では、比較のために、スペーサ領域 20 を半導体だけで構成した

場合についても示している。

【0047】図 5 に示すように、スペーサ領域 20 を半導体だけで構成した場合、交換結合定数は、スペーサ領域 20 の厚さが厚くなるに従って、指数関数的に減衰してしまう。そして、スペーサ領域 20 の厚さが 2.5 nm 程度以上となると、磁化領域間の結合が非常に弱くなってしまい、実用的な素子を構成することが出来なくなってしまう。このため、従来は、スペーサ領域 20 の厚さを、2.5 nm 程度以下とする必要があった。

【0048】これに対して、強磁性体膜 24 と半導体膜 25 とを積層した多層膜をスペーサ領域 20 に用いた場合には、スペーサ領域 20 に強磁性体膜 24 が存在するため、図 5 に示すように、積層周期ごとに結合が維持される。このことから明らかに分かるように、磁性材料及び半導体材料を含む複合体をスペーサ領域 20 に用いることにより、当該磁性材料を媒介として、一方の磁化領域 11 と他方の磁化領域 12 とを間接的に結合させることが出来る。したがって、磁性材料及び半導体材料を含む複合体をスペーサ領域 20 に用いた場合には、スペーサ領域 20 の厚さを従来よりも遙かに厚くすることが可能となる。

【0049】以上のように、本発明を適用することにより、スペーサ領域 20 の厚さを従来よりも厚くすることが可能となる。そして、例えば、スペーサ領域 20 の厚さを 10 nm 程度以上とすれば、磁化領域 11, 12 がスペーサ領域 20 によって分割されてなる構造を、現在の微細加工技術でも十分に作製することが可能となる。しかも、スペーサ領域 20 の厚さを 10 nm 程度以上とすれば、半導体と強磁性体との界面でのショットキー障壁等の形成に伴う空乏層の生成の問題等も解消され、スペーサ領域 20 へのキャリアの注入も実現可能となる。

【0050】なお、図 2 乃至図 4 に示した構造のうち、図 2 に示したような構造は、スペーサ領域が均一な単相の構造となるので、作製が容易であるという利点がある。また、図 3 に示したような構造は、強さの異なる磁気結合の経路が多数存在するので、弱い結合から順に切っていくようにすれば、磁気結合を漸減させることが可能となる。したがって、図 3 に示したような構造は、例えば、アナログ的動作を行うような場合に好適である。また、図 4 に示したような構造は、構造の制御がしやすいので、特性の再現性が高いという利点がある。しかも、図 4 に示したような構造では、膜厚や積層周期を変えることによって、材料設計や特性の合わせ込みを行うことも容易である。

【0051】ところで、以上の説明では、RKKY 相互作用による結合に基づく例を挙げたが、間接相互作用の原理は RKKY 相互作用もしくはこれに類似したものである必要はなく、スペーサ領域 20 のキャリア濃度制御によって磁化領域間の結合状態を変調できるという条件を満たすものであれば、特に限定されるものではない。

したがって、例えば、トンネル電子が媒介する結合や、半導体中の局在単位による結合に基づく場合にも、本発明は適用可能である。なお、トンネル電子が媒介する結合については、例えば「P. Bruno, Phys. Rev. B49(1994)13231」に記載されており、また、半導体中の局在単位による結合については、例えば「S. Toscano et al., J. Magn. & Magn. Mater. 114(1992)L301」に記載されている。

【0052】つぎに、以上のような磁化制御方法を利用した情報記録素子及び情報記録方法について、図6乃至図15を参照して説明する。

【0053】まず、本発明を適用した情報記録素子の一例を、図6乃至図9を参照して説明する。なお、図6乃至図9に示す情報記録素子30は、追記型の情報記録素子であり、磁化領域の磁化の向きにより二値の記録が行えるようになっている。

【0054】この情報記録素子30は、図6及び図7に示すように、基板31上に形成された固定磁性層32と、固定磁性層32上に形成されたスペーサ層33と、スペーサ層33上に形成された可動磁性層34と、スペーサ層33上に絶縁層35を介して形成されたゲート電極36とを備えている。

【0055】この情報記録素子30において、固定磁性層32は、スペーサ層33によって分割されてなる磁化領域の一方を構成するものであり、その磁化方向M3は常に一定の方向に固定される。この固定磁性層32は、通常環境において存在する弱い外部磁界によって磁化方向M3が変化するようなことがないように、保磁力が十分に高い強磁性材料（具体的には保磁力が1kOe程度以上の強磁性材料）によって形成することが好ましい。

【0056】可動磁性層34は、スペーサ層33によって分割されてなる磁化領域の他方を構成するものであり、その磁化方向M4は記録する情報に応じて可変とされる。この可動磁性層34は、固定磁性層32に比べて保磁力が低くなるように、その形状や材料などが選定されてなる。また、可動磁性層34には、磁界中成膜などの方法により、強い一軸磁気異方性を付与しておくとともに、その磁化方向M4が固定磁性層32の磁化方向に対して反平行となるようにしておく。

【0057】スペーサ層33は、強磁性体からなる磁化領域を分割するスペーサ領域となるものである。すなわち、この情報記録素子30では、固定磁性層32及び可動磁性層34からなる磁化領域が、スペーサ層33によって分割されている。そして、このスペーサ層33は、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなる。ここで、スペーサ層33を構成する複合体は、図2を参照して説明したように、磁性半導体からなるものであっても良いし、また、図3を参照して説明したように、強磁性微粒子を半導体又は磁性半導体中に分散させたものであっても良いし、また、図4を参照して説明したように、

強磁性体膜と半導体膜又は磁性半導体膜とを積層した多層膜であっても良い。

【0058】なお、本発明を適用した情報記録素子30では、スペーサ層33の厚さを厚くすることが可能であり、具体的には、その膜厚を10nm以上とすることが好ましい。スペーサ層30の膜厚を10nm以上とすれば、スペーサ層30の厚さが薄すぎるために作製が困難であるという問題や、スペーサ層30の厚さが薄すぎるためにキャリアの注入が困難であるという問題を、回避することができる。

【0059】ゲート電極36は、例えば金等のような導電性を有する材料からなり、絶縁層35を介してスペーサ層33に対向するように形成されている。このゲート電極36に電圧を印加すると、絶縁層35を介して配されているスペーサ層33のうち、ゲート電極36に対向している付近に、キャリアが集まることとなる。

【0060】このような情報記録素子30において、ゲート電極36に電圧を印加していない初期状態（すなわちゲート電極 $V_G=0$ の状態）では、図6及び図7に示すように、固定磁性層32の磁化方向M3と、可動磁性層34の磁化方向M4とが反平行の状態となっている。

【0061】そして、この情報記録素子30に対して情報を記録する際は、図8及び図9に示すように、ゲート電極36に所定の電圧Vを印加する（すなわちゲート電極 $V_G=V$ とする）。ゲート電極36に電圧Vを印加すると、固定磁性層32と可動磁性層34との間に配されたスペーサ層33のキャリア濃度が変化し、その結果、固定磁性層32と可動磁性層34との磁気的結合状態が変化する。これに伴い、保磁力の低い可動磁性層34はトルクを受け、その結果、可動磁性層34の磁化方向M4が反転する。そして、このように一旦反転した磁化は、可動磁性層34が強い一軸磁気異方性を有するため安定であり、ゲート電極36への電圧Vの印加を止めても、その状態が保持される。

【0062】このように、この情報記録素子30では、ゲート電極26に電圧Vを印加することにより、磁界を用いることなく可動磁性層34の磁化方向M4を制御することが可能となっており、可動磁性層34の磁化の向きにより二値の情報を記録することが出来る。

【0063】つぎに、本発明を適用した情報記録素子の他の例を、図10乃至図12を参照して説明する。なお、図10乃至図12に示す情報記録素子40は、複数の固定磁性層を用いることで、情報の書き換えを可能とした情報記録素子である。この情報記録素子40においても、上述の情報記録素子30と同様に、磁化領域の磁化の向きにより二値の記録が行えるようになっている。

【0064】この情報記録素子40は、図11に示すように、基板41上の一部に形成された第1の固定磁性層42と、基板41上の他の一部に形成された第2の固定磁性層43と、第1の固定磁性層42上から第2の固定

10

20

30

40

50

15

磁性層 43 上にわたって形成されたスペーサ層 44 と、スペーサ層 44 上に形成された可動磁性層 45 と、スペーサ層 44 上の一部に絶縁層 46 を介して形成された第 1 のゲート電極 47 と、スペーサ層 44 上の他の一部に絶縁層 48 を介して形成された第 2 のゲート電極 49 とを備えている。

【0065】この情報記録素子 40 において、固定磁性層 42、43 は、上述した情報記録素子 30 における固定磁性層 32 と同様に、保磁力が高い磁性材料からなり、磁化方向が常に一定の方向を向くように固定される。そして、この情報記録素子 40 において、第 1 の固定磁性層 42 の磁化方向 M5 と、第 2 の固定磁性層 43 の磁化方向 M6 とは、互いに反平行とされる。

【0066】可動磁性層 45 は、上述した情報記録素子 30 における可動磁性層 34 と同様に、記録する情報に応じて磁化方向 M7 が可変とされる。すなわち、この可動磁性層 45 は、固定磁性層 42、43 に比べて保磁力が低くなるように、その形状や材料などが選定されてなる。また、この可動磁性層 45 には、磁界中成膜などの方法により、強い一軸磁気異方性を付与しておくとともに、その磁化方向 M7 が固定磁性層 42、43 の磁化方向に対して平行又は反平行となるようにしておく。なお、本例では、初期状態において、可動磁性層 45 の磁化方向 M7 が、第 1 の固定磁性層 42 の磁化方向 M5 に対して平行となり、第 2 の固定磁性層 43 の磁化方向 M6 に対して反平行となるようにしている。

【0067】スペーサ層 44 は、強磁性体からなる磁化領域を分割するスペーサ領域となるものである。すなわち、この情報記録素子 40 では、第 1 の固定磁性層 42、第 2 の固定磁性層 43 及び可動磁性層 45 からなる磁化領域が、スペーサ層 44 によって分割されている。そして、このスペーサ層 44 は、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなる。ここで、スペーサ層 44 を構成する複合体は、図 2 を参照して説明したように、磁性半導体からなるものであっても良いし、また、図 3 を参照して説明したように、強磁性微粒子を半導体又は磁性半導体中に分散させたものであっても良いし、また、図 4 を参照して説明したように、強磁性体膜と半導体膜又は磁性半導体膜とを積層した多層膜であっても良い。

【0068】なお、本発明を適用した情報記録素子 40 では、スペーサ層 44 の厚さを厚くすることが可能であり、具体的には、その膜厚を 10 nm 以上とすることが好ましい。スペーサ層 44 の膜厚を 10 nm 以上とすれば、スペーサ層 44 の厚さが薄すぎるために作製が困難であるという問題や、スペーサ層 44 の厚さが薄すぎるためにキャリアの注入が困難であるという問題を、回避することができる。

【0069】第 1 のゲート電極 47 及び第 2 のゲート電極 49 は、例えば金等のような導電性を有する材料からなる。そして、第 1 のゲート電極 47 は、絶縁層 46 を

16

介してスペーサ層 44 に対向し、且つ、絶縁層 46 及びスペーサ層 44 を介して第 1 の固定磁性層 42 に対向するように形成されている。また、第 2 のゲート電極 49 は、絶縁層 48 を介してスペーサ層 44 に対向し、且つ、絶縁層 48 及びスペーサ層 44 を介して第 2 の固定磁性層 43 に対向するように形成されている。

【0070】そして、第 1 のゲート電極 47 に電圧を印加すると、絶縁層 46 を介して配されているスペーサ層 44 のうち、第 1 のゲート電極 47 に対向している付近にキャリアが集まることとなる。換言すれば、第 1 のゲート電極 47 に電圧を印加すると、可動磁性層 45 と第 1 の固定磁性層 42 との間のスペーサ層 44 にキャリアが集まることとなる。

【0071】一方、第 2 のゲート電極 49 に電圧を印加すると、絶縁層 48 を介して配されているスペーサ層 44 のうち、第 2 のゲート電極 49 に対向している付近にキャリアが集まることとなる。換言すれば、第 2 のゲート電極 49 に電圧を印加すると、可動磁性層 45 と第 2 の固定磁性層 43 との間のスペーサ層 44 にキャリアが集まることとなる。

【0072】そして、この情報記録素子 40 では、第 1 のゲート電極 47 及び第 2 のゲート電極 49 に印加する電圧を制御することにより、可動磁性層 44 の磁化方向 M7 を繰り返し反転させることが可能となっている。以下、このように可動磁性層 44 の磁化方向 M7 を繰り返し反転させるときの動作について説明する。

【0073】第 1 のゲート電極 47 及び第 2 のゲート電極 49 に電圧を印加していない初期状態では、図 10 に示すように、可動磁性層 45 の磁化方向 M7 は、第 1 の固定磁性層 42 の磁化方向 M5 に対して平行であり、第 2 の固定磁性層 43 の磁化方向 M6 に対して反平行である。

【0074】この状態のときに、図 11 に示すように、第 2 のゲート電極 49 に対して所定の電圧 V_2 を印加し、第 2 のゲート電極 49 のゲート電圧 $V_{G2} = V_2$ とする。すると、可動磁性層 45 と第 2 の固定磁性層 43 との間に配されたスペーサ層 44 のキャリア濃度が変化し、その結果、可動磁性層 45 と第 2 の固定磁性層 43 との磁気的結合状態が変化する。これに伴い、保磁力の低い可動磁性層 45 はトルクを受け、その結果、可動磁性層 45 の磁化方向 M7 が反転する。すなわち、図 11 に示すように、可動磁性層 45 の磁化方向 M7 が、第 1 の固定磁性層 42 の磁化方向 M5 に対して反平行で、第 2 の固定磁性層 43 の磁化方向 M6 に対して平行な状態となる。そして、このように一旦反転した磁化は、可動磁性層 45 が強い一軸磁気異方性を有するために安定であり、第 2 のゲート電極 49 への電圧 V_2 の印加を止めても、その状態が保持される。

【0075】更に、可動磁性層 45 の磁化方向が、第 1 の固定磁性層 42 の磁化方向 M5 に対して反平行で、第

17

2の固定磁性層43の磁化方向M6に対して平行な状態のときに、図12に示すように、第1のゲート電極47に対して所定の電圧 V_1 を印加し、第1のゲート電極47のゲート電圧 $V_{G1}=V_1$ とする。すると、可動磁性層45と第1の固定磁性層42との間に配されたスペーサ層44のキャリア濃度が変化し、その結果、可動磁性層45と第1の固定磁性層42との磁氣的結合状態が変化する。これに伴い、保磁力の低い可動磁性層45はトルクを受け、その結果、可動磁性層45の磁化方向M7が反転する。すなわち、図12に示すように、可動磁性層45の磁化方向M7が、第1の固定磁性層42の磁化方向M5に対して平行で、第2の固定磁性層43の磁化方向M6に対して反平行な状態となる。そして、このように一旦反転した磁化は、可動磁性層45が強い一軸磁気異方性を有するために安定であり、第1のゲート電極47への電圧 V_1 の印加を止めても、その状態が保持される。

【0076】このように、この情報記録素子40では、第1のゲート電極47や第2のゲート電極49に電圧を印加することにより、磁界を用いることなく可動磁性層45の磁化方向M7を制御することが可能となっており、可動磁性層45の磁化の向きにより二値の情報を記録することが出来る。しかも、この情報記録素子40では、第1のゲート電極47に所定の電圧 V_1 を印加したり、或いは、第2のゲート電極49に所定の電圧 V_2 を印加したりすることで、可動磁性層45の磁化方向M7を繰り返し反転させることが出来る。すなわち、この情報記録素子40は、情報の書き換えを繰り返し行うことが可能となっている。

【0077】つぎに、本発明を適用した情報記録素子の他の例を、図13乃至図15を参照して説明する。なお、図13乃至図15に示す情報記録素子50は、複数の固定磁性層を用いることで、情報の書き換えを可能とした情報記録素子である。この情報記録素子50においても、上述の情報記録素子30、40と同様に、磁化領域の磁化の向きにより二値の記録が行えるようになっている。

【0078】この情報記録素子は、図13に示すように、基板51上に形成された第1の固定磁性層52と、第1の固定磁性層52上に形成された第1のスペーサ層53と、第1のスペーサ層53上に形成された可動磁性層54と、可動磁性層54上に形成された第2のスペーサ層55と、第2のスペーサ層55上に形成された第2に固定磁性層56と、第1のスペーサ層53上の一部に絶縁層57を介して形成された第1のゲート電極58と、第2のスペーサ層55上の一部に絶縁層59を介して形成された第2のゲート電極60とを備えている。

【0079】この情報記録素子50において、固定磁性層52、56は、上述した情報記録素子40における固定磁性層42、43と同様に、保磁力が高い磁性材料か

18

らなり、磁化方向が常に一定の方向を向くように固定される。そして、この情報記録素子50において、第1の固定磁性層52の磁化方向M8と、第2の固定磁性層56の磁化方向M9とは、互いに反平行とされる。

【0080】可動磁性層54は、上述した情報記録素子40における可動磁性層45と同様に、記録する情報に応じて磁化方向M10が可変とされる。すなわち、この可動磁性層54は、固定磁性層52、56に比べて保磁力が低くなるように、その形状や材料などが選定される。そして、この可動磁性層54には、磁界中成膜などの方法により、強い一軸磁気異方性を付与しておくとともに、その磁化方向M10が固定磁性層52、56の磁化方向に対して平行又は反平行となるようにしておく。なお、本例では、初期状態において、可動磁性層54の磁化方向M10が、第1の固定磁性層52の磁化方向M8に対して平行となり、第2の固定磁性層56の磁化方向M9に対して反平行となるようにしている。

【0081】第1のスペーサ層53及び第2のスペーサ層55は、強磁性体からなる磁化領域を分割するスペーサ領域となるものである。すなわち、この情報記録素子50では、第1の固定磁性層52、第2の固定磁性層56及び可動磁性層54からなる磁化領域が、第1のスペーサ層53及び第2のスペーサ層55によって分割されている。そして、これらのスペーサ層53、55は、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなる。ここで、スペーサ層53、55を構成する複合体は、図2を参照して説明したように、磁性半導体からなるものであっても良いし、また、図3を参照して説明したように、強磁性微粒子を半導体又は磁性半導体中に分散させたものであっても良いし、また、図4を参照して説明したように、強磁性体膜と半導体膜又は磁性半導体膜とを積層した多層膜であっても良い。

【0082】なお、本発明を適用した情報記録素子50では、スペーサ層53、55の厚さを厚くすることが可能であり、具体的には、それらの膜厚をそれぞれ10nm以上とすることが好ましい。スペーサ層53、55の膜厚を10nm以上とすれば、スペーサ層53、55の厚さが薄すぎるために作製が困難であるという問題や、スペーサ層53、55の厚さが薄すぎるためにキャリアの注入が困難であるという問題を、回避することができる。

【0083】第1のゲート電極58及び第2のゲート電極60は、例えば金等のような導電性を有する材料からなる。そして、第1のゲート電極58は、絶縁層57を介して第1のスペーサ層53に対向し、且つ、絶縁層57及び第1のスペーサ層53を介して第1の固定磁性層52に対向するように形成されている。また、第2のゲート電極60は、絶縁層59を介して第2のスペーサ層55に対向し、且つ、絶縁層59及び第2のスペーサ層55を介して可動磁性層54に対向するように形成され

ている。

【0084】そして、第1のゲート電極58に電圧を印加すると、絶縁層57を介して配されている第1のスペーサ層53のうち、第1のゲート電極58に対向している付近にキャリアが集まることとなる。換言すれば、第1のゲート電極58に電圧を印加すると、可動磁性層54と第1の固定磁性層52との間の第1のスペーサ層53にキャリアが集まることとなる。

【0085】一方、第2のゲート電極60に電圧を印加すると、絶縁層59を介して接している第2のスペーサ層55のうち、第2のゲート電極60に対向している付近にキャリアが集まることとなる。換言すれば、第2のゲート電極60に電圧を印加すると、可動磁性層54と第2の固定磁性層56との間の第2のスペーサ層55にキャリアが集まることとなる。

【0086】そして、この情報記録素子50では、第1のゲート電極58及び第2のゲート電極60に印加する電圧を制御することにより、可動磁性層54の磁化方向M10を繰り返し反転させることが可能となっている。以下、このように可動磁性層54の磁化方向M10を繰り返し反転させるときの動作について説明する。

【0087】第1のゲート電極58及び第2のゲート電極60に電圧を印加していない初期状態では、図13に示すように、可動磁性層54の磁化方向M10は、第1の固定磁性層52の磁化方向M8に対して平行であり、第2の固定磁性層56の磁化方向M9に対して反平行である。

【0088】この状態のときに、図14に示すように、第2のゲート電極60に対して所定の電圧 V_2 を印加し、第2のゲート電極60のゲート電圧 $V_{G2}=V_2$ とする。すると、可動磁性層54と第2の固定磁性層56との間に配された第2のスペーサ層55のキャリア濃度が変化し、その結果、可動磁性層54と第2の固定磁性層56との磁氣的結合状態が変化する。これに伴い、保磁力の低い可動磁性層54はトルクを受け、その結果、可動磁性層54の磁化方向M10が反転する。すなわち、図14に示すように、可動磁性層54の磁化方向M10が、第1の固定磁性層52の磁化方向M8に対して反平行で、第2の固定磁性層56の磁化方向M9に対して平行な状態となる。そして、このように一旦反転した磁化は、可動磁性層54が強い一軸磁気異方性を有するために安定であり、第2のゲート電極60への電圧 V_2 の印加を止めても、その状態が保持される。

【0089】更に、可動磁性層54の磁化方向が、第1の固定磁性層52の磁化方向M10に対して反平行で、第2の固定磁性層56の磁化方向M9に対して平行な状態のときに、図15に示すように、第1のゲート電極58に対して所定の電圧 V_1 を印加し、第1のゲート電極58のゲート電圧 $V_{G1}=V_1$ とする。すると、可動磁性層54と第1の固定磁性層52との間に配された第1の

スペーサ層53のキャリア濃度が変化し、その結果、可動磁性層54と第1の固定磁性層52との磁氣的結合状態が変化する。これに伴い、保磁力の低い可動磁性層54はトルクを受け、その結果、可動磁性層54の磁化方向M10が反転する。すなわち、図15に示すように、可動磁性層54の磁化方向M10が、第1の固定磁性層52の磁化方向M8に対して平行で、第2の固定磁性層56の磁化方向M9に対して反平行な状態となる。そして、このように一旦反転した磁化は、可動磁性層54が強い一軸磁気異方性を有するために安定であり、第1のゲート電極58への電圧 V_1 の印加を止めても、その状態が保持される。

【0090】このように、この情報記録素子50では、第1のゲート電極58や第2のゲート電極60に電圧を印加することにより、磁界を用いることなく可動磁性層54の磁化方向M10を制御することが可能となっており、可動磁性層54の磁化の向きにより二値の情報を記録することが出来る。しかも、この情報記録素子50では、第1のゲート電極58に電圧を印加したり、或いは、第2のゲート電極60に電圧を印加したりすることで、可動磁性層54の磁化方向M10を繰り返し反転させることが出来る。すなわち、この情報記録素子50は、情報の書き換えを繰り返し行うことが可能となっている。

【0091】なお、図10乃至図15に示した情報記録素子のうち、図10乃至図12に示したような情報記録素子40は、可動磁性層45が上面に現れることとなるので、可動磁性層45の磁化方向M7の変化を読み取りやすいという利点がある。一方、図13乃至図15に示したような情報記録素子50は、図10乃至図12に示したような情報記録素子40に比べて、必要とする面積が少なく済むので、高集積化しやすいという利点がある。

【0092】ところで、以上の説明で挙げた情報記録素子30、40、50では、可動磁性層34、45、54として一軸磁気異方性を有するものを使用して、二値記録を行えるようにしている。しかし、可動磁性層には、磁化の向きに対する異方性エネルギーの極小点が3つ以上存在するようなものを使用するようにしても良い。可動磁性層として、磁化の向きに対する異方性エネルギーの極小点が3つ以上存在するようなものを使用するようにした場合には、一つの可動磁性層により、三値以上の多値記録を行うことが可能となる。

【0093】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明においては、スペーサ領域により媒介される磁化領域間の磁氣的相互作用を利用して、磁化領域の磁化方向を制御するにあたって、スペーサ領域に磁性材料を含ませているので、スペーサ領域が厚くても、強磁性体からなる磁化領域間において磁氣的相互作用を生じさせることが

できる。すなわち、本発明によれば、スぺーサ領域を厚くしても、磁化領域の磁化を制御することが可能である。

【0094】したがって、本発明によれば、磁界を用いることなく磁化を制御することが可能な磁化制御方法、並びにそのような磁化制御方法を利用した情報記録素子及び情報記録方法を実用化することが可能となる。

【0095】その結果、本発明によれば、アクセス時間が速く、高集積化が容易であり、不揮発性であり、書き換え可能回数が多く、クロストークが無い、非常に理想的な固体メモリを実現することも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】強磁性体からなる磁化領域がスぺーサ領域によって分割されているときに、スぺーサ領域への刺激によって磁化領域の磁化状態が変調される様子を説明するための図であり、図1(a)は、スぺーサ領域に対して刺激を与えていないときの状態を示す図、図1(b)は、スぺーサ領域に対して刺激を与えることにより、一方の磁化領域の磁化方向が反転した状態を示す図である。

【図2】強磁性体からなる磁化領域と、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスぺーサ領域と、強磁性体からなる磁化領域とを積層した積層構造体の断面を示す図であり、スぺーサ領域に使用する複合体として、磁性半導体を使用した例を示す図である。

【図3】強磁性体からなる磁化領域と、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスぺーサ領域と、強磁性体からなる磁化領域とを積層した積層構造体の断面を示す図であり、スぺーサ領域に使用する複合体として、強磁性微粒子である磁性体クラスタを半導体の内部に分散させた媒体を使用した例を示す図である。

【図4】強磁性体からなる磁化領域と、磁性材料及び半導体材料を含む複合体からなるスぺーサ領域と、強磁性体からなる磁化領域とを積層した積層構造体の断面を示す図であり、スぺーサ領域に使用する複合体として、強磁性体膜と半導体膜とを積層した多層膜を使用した例を示す図である。

【図5】スぺーサ領域が強磁性体膜と半導体膜とを積層した多層膜からなる場合、並びに、スぺーサ領域が半導体だけからなる場合について、スぺーサ領域の厚さと磁化領域間の交換結合定数との関係を示す図である。

【図6】本発明を適用した情報記録素子の一例について、ゲート電極に電圧を印加していないときの状態を示す断面図である。

す断面図である。

【図7】図7に示した情報記録素子について、ゲート電極に電圧を印加していないときの状態を示す断面図である。

【図8】図7に示した情報記録素子について、ゲート電極に電圧を印加したときの状態を示す断面図である。

【図9】図7に示した情報記録素子について、ゲート電極に電圧を印加したときの状態を示す断面図である。

【図10】本発明を適用した情報記録素子の他の例について、第1及び第2のゲート電極に電圧を印加していないときの状態を示す断面図である。

【図11】図10に示した情報記録素子について、第2のゲート電極に電圧を印加したときの状態を示す断面図である。

【図12】図10に示した情報記録素子について、第1のゲート電極に電圧を印加したときの状態を示す断面図である。

【図13】本発明を適用した情報記録素子の他の例について、第1及び第2のゲート電極に電圧を印加していないときの状態を示す断面図である。

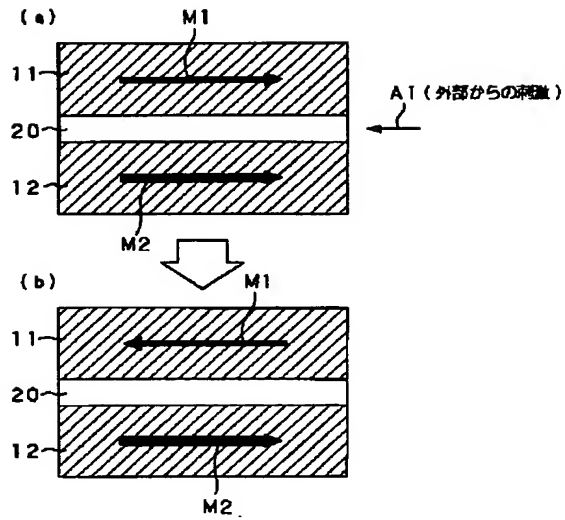
【図14】図13に示した情報記録素子について、第2のゲート電極に電圧を印加したときの状態を示す断面図である。

【図15】図13に示した情報記録素子について、第1のゲート電極に電圧を印加したときの状態を示す断面図である。

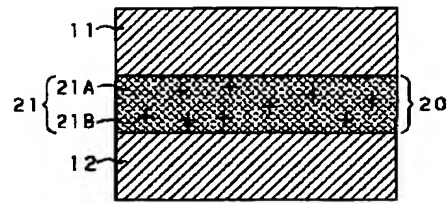
【符号の説明】

11, 12 磁化領域、 20 スぺーサ領域、 21 磁性半導体、 21A 磁性半導体中の半導体マトリクス、 21B 磁性半導体中の磁性イオン、 22 磁性体クラスタ、 23 半導体、 24 強磁性体膜、 25 半導体膜、 31 基板、 32 固定磁性層、 33 スぺーサ層、 34 可動磁性層、 35 絶縁層、 36 ゲート電極、 41 基板、 42 第1の固定磁性層、 43 第2の固定磁性層、 44 スぺーサ層、 45 可動磁性層、 46 絶縁層、 47 第1のゲート電極、 48 絶縁層、 49 第2のゲート電極、 51 基板、 52 第1の固定磁性層、 53 第1のスぺーサ層、 54 可動磁性層、 55 第2のスぺーサ層、 56 第2の固定磁性層、 57 絶縁層、 58 第1のゲート電極、 59 絶縁層、 60 第2のゲート電極

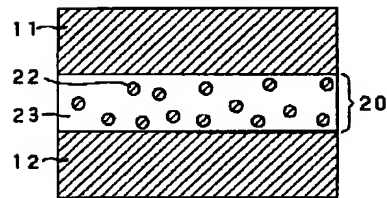
【図 1】



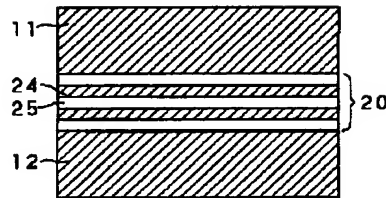
【図 2】



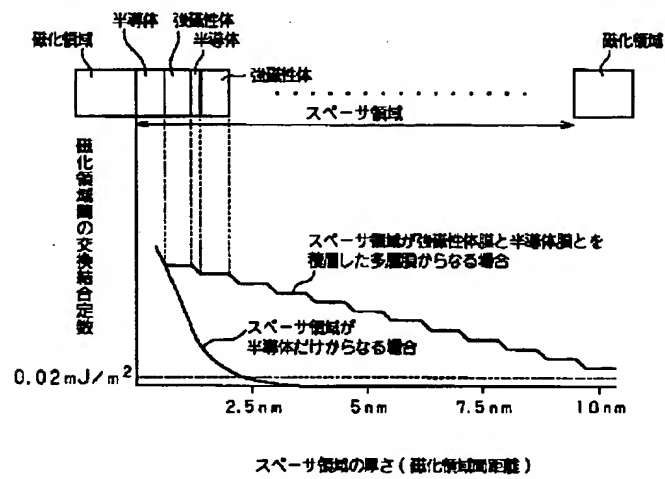
【図 3】



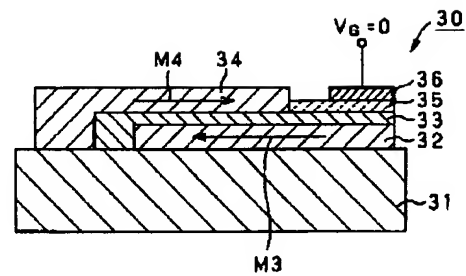
【図 4】



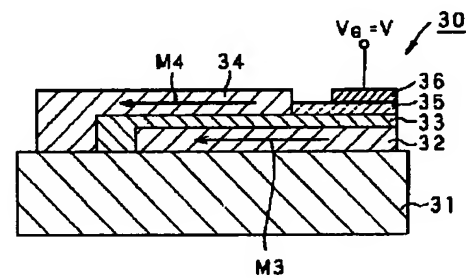
【図 5】



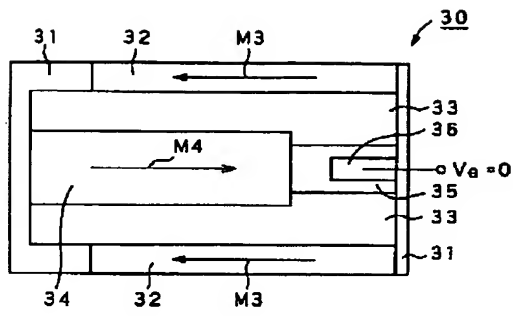
【図 6】



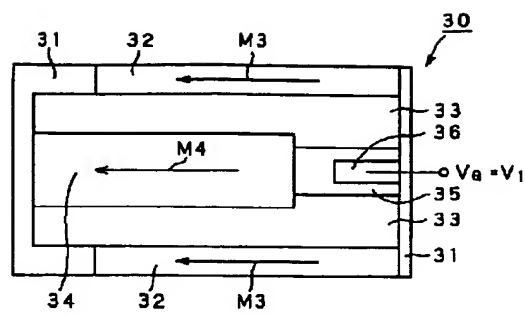
【図 8】



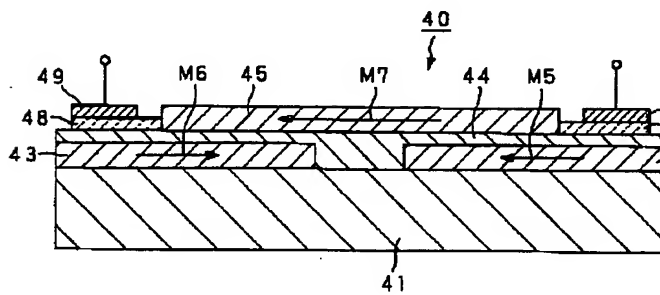
【図7】



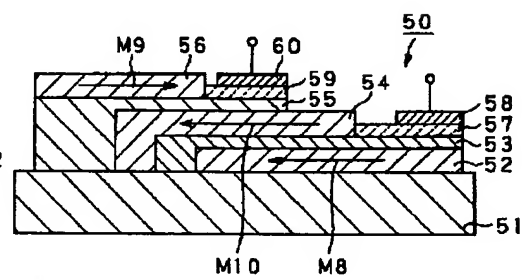
【図9】



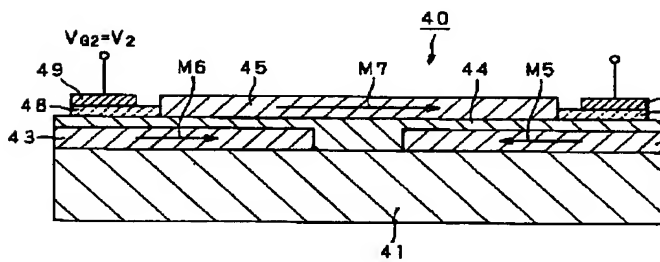
【図10】



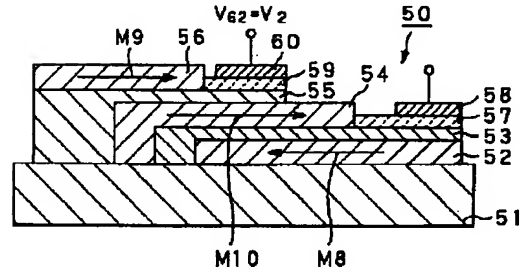
【図13】



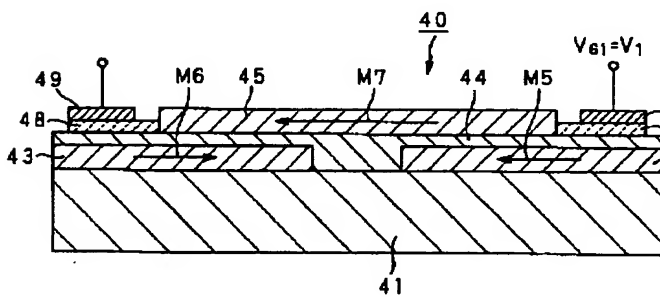
【図11】



【図14】



【図12】



【図15】

